

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

<p>プロジェクト:「デジタルツインを用いたPC橋の補修・部分更新・撤去技術に関する研究」</p>
<p>プロジェクトリーダー ・氏名(ふりがな): 三木 朋広(みき ともひろ) ・所属・役職: 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻, 准教授</p>
<p>研究期間: 令和 2年 9月 ~ 令和 3年 3月</p>
<p>プロジェクト参加メンバー 神戸大学, 京都大学, 大阪工業大学, 関西大学, 大阪大学, 建設コンサルタンツ協会近畿支部, プレストレストコンクリート建設業協会関西支部, 近畿地方整備局, 近畿道路メンテナンスセンター, 近畿技術事務所</p>
<p>プロジェクトの背景・目的 PC 橋は予防保全的な措置を行うことが肝要であるが, 損傷要因の不確かさや供用環境が様々であることから, 合理性を欠いた非効率な対応となっている現状がある. 本研究では, できる限り不確実性を排除した上で, 起こり得る劣化・損傷の影響を再現し, さらに PC 橋の点検, 調査, 診断, 補修といった一連のメンテナンスループでのスムーズな「情報」の伝達が可能なツールの構築を目指し, デジタルツイン(デジタル上に対象構造物をモデル化して, 力学挙動の再現, 分析, ならびに現実空間とのデータ関連付けを行う技術手法の総称)を用いた PC 橋の維持管理における補修・部分更新・撤去技術に関する調査研究を行う.</p>
<p>プロジェクトの研究内容 本プロジェクトでは, 以下の5項目に関する調査研究を実施してきた. それぞれの研究内容の概要を示す.</p> <p>(1)PC 橋を対象としたデジタルツインの設計, 劣化損傷が PC 橋の構造性能に与える影響分析の検討項目整理 デジタルツインのコンセプトを用いて, PC 橋の劣化進行, 断面部分補修・更新など, 将来起こり得る状態の変化を 3 次元モデルに再現し, 挙動をシミュレートして分析するツール構築に向けたシステム設計を行う. 3 次元モデルのデジタルデータには復元設計の結果を活用する. モデル構築には将来的に CIM の展開も想定する. 本デジタルツインを用いて, T 桁, 中空床版, 箱桁等を対象とした部分更新における, 腐食 PC 鋼材の断面欠損, コンクリート断面を部分更新した場合のプレストレスの状態変化等の影響について, 必要な解析検討の項目を整理する.</p> <p>(2)デジタルツインに導入する PC 鋼材腐食とプレストレスの関係に関する供試体の計画 PC 鋼材の腐食に伴う PC 部材断面内のプレストレスの状態変化に関する再現実験に向けて, 供試体寸法, 緒元, プレストレスの導入レベル, ならびに PC 鋼材の腐食位置, 腐食程度等に関する実験要因を検討するための予備実験を行う.</p> <p>(3)近畿地方整備局管内の橋梁点検調書の分析, PC 橋特有の健全度判定の決定要因の考察 近畿地方整備局管内の橋梁の点検調書を分析し, 健全度判定の決定要因について考察する. また, 点検 2 巡目以降の診断や情報伝達をスムーズにするためのひび割れスケッチや写真の記録方法の標準化を検討する. 横締め PC 定着部(図 1), かぶりコンクリート剥落など, 第三者被害対応の判定と構造的観点での判定区分を明確化し, 整理する. 最終的には, 上記検討に基づく, PC 構造設計者が考える留意点を考慮した点検着目点, 健全度の診断につながる引継ぎ上の注意点等をまとめた手引きの素案(図 2)を作成する.</p> <p>(4)デジタルツインに導入し, 連動するモニタリング手法の調査 デジタルツインへの入力情報を得るために使用する非破壊検査方法, 特に簡易手法を調査する. また, PC 橋における損傷に伴うプレストレスの変化の早期発見にむけたモニタリング技術を調査する.</p> <p>(5)PC 橋の撤去更新に関する施工事例の調査 構造安定性および施工安全性に留意した橋梁上部工の撤去技術に関する事例収集を行う. 橋梁の構造形式に応じた撤去施工方法について検討する. また, 必要な足場設置等の施工環境, 作業工程, 撤去機械の適用と開発などへの進展的な取組みを調査する. 橋梁の撤去事例に関するケーススタディに基づく橋梁の撤去更新技術を提案に向けた基礎資料を作成する.</p>

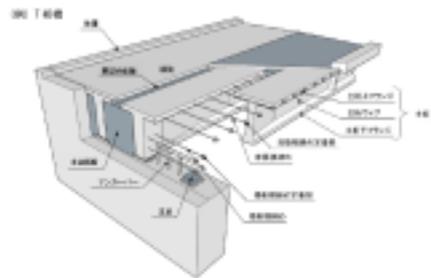


図 1 PC 橋を構成する要素および部材の一例(T 桁橋)

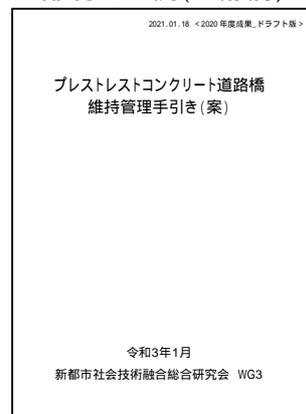


図 2 PC 道路橋維持管理手引き(案)

プロジェクト・研究成果の概要(2 / 2)

プロジェクトの研究成果の概要

PC 橋を対象として、デジタルツインを用いた補修・部分更新・撤去技術に関する分析ツールの構築を最終目標として、プロジェクト初年度では以下 5 項目に関する調査研究を行った。それぞれの成果は以下の通りである。

(1)PC 橋を対象としたデジタルツインの設計、劣化損傷が PC 橋の構造性能に与える影響分析の検討項目整理

PC 橋のモデル化方法に関する情報収集(健全,劣化構造部材の解析事例収集(非線形解析におけるプレストレスの再現方法,形状の再現方法,構成則,付着,鋼材のモデル化)

PC 中空床版橋を対象とした設計の分析と検討項目整理(設計格子解析と 3 次元弾性 FEM の結果比較,既存設計事例の分析,設計ディテール(直轄方式と NEXCO 方式)の比較)



写真 1 PC はり供試体の電食試験

(2)デジタルツインに導入する PC 鋼材腐食とプレストレスの関係に関する供試体の計画

既往研究の整理(腐食 PC 鋼材の力学特性,腐食した PC 桁の残存プレストレス,PC 鋼材腐食度の評価)

小型供試体の電食試験と載荷試験の実施

PC スtrand 2 本配置したポストテンション方式 PC はり供試体(写真 1)を対象に腐食状況とプレストレス変化をモニタリングした。シース腐食による水平ひび割れと主桁プレストレス状態の関係,グラウト不完全充填(断面下半分充填など)の影響を調べ,漏洩磁束法による腐食度探査を試行するとともに,載荷試験(写真 2)を実施した。



写真 2 PC はり供試体の載荷試験

(3)近畿地方整備局管内の橋梁点検調査書の分析,PC 橋特有の健全度判定の決定要因の考察に基づく PC 道路橋維持管理手引きの素案作成

近畿地方整備局管内の橋梁点検調査書の分析,健全度判定の決定要因に関する考察

上記考察を踏まえた,PC 構造設計者が考える留意点を考慮した点検着目点と次回診断につながる引継ぎ上の注意点をまとめた手引き素案(図 3)の作成

現場で使える「ハンドブック」を目指し,性能が十分に発揮できなくなる「PC 橋のウィークポイントとなる要因」,それを早期に見つけるための「点検・調査での着目点」,予防保全に向けた「変状種別と原因推定」,「損傷程度の判定」,「必要な対応(措置)の方向性」,「記録のポイント」をコンパクトにまとめている。



図 3 手引き(案)における点検ガイド抜粋

(4)デジタルツインに導入し,連動するモニタリング手法調査

PC 橋における劣化,損傷に関する非破壊試験,構造物の状態変化に関するモニタリング手法の調査

PC 橋のデジタルツインモデルに必要な入力情報として,コンクリートの圧縮強度に着目し,簡易試験法として反発度法(リバウンドハンマー),非破壊試験として弾性波法(超音波法,衝撃弾性波法)の推定精度を整理した。同じく必要な鉄筋位置の探査について,電磁波レーダ法,電磁誘導法などの推定精度を整理した。

(5)PC 橋の撤去更新に関する施工事例の調査

PC 橋上部工の撤去事例の収集と分析

構造安定,施工安全に留意した橋梁上部工の撤去技術について,橋梁の構造形式,支持方法,撤去方法,交差条件等に応じた撤去施工方法を分類,整理し,施工条件,制約条件について分析した(表 1)。

表 1 PC 橋の撤去事例調査表

種別	工法	構造形式	支持方法	撤去方法	
1	D	橋脚打ち 中空床版橋	架設桁+多脚台車	架設桁(上落式)	
2	E		多脚台車	多脚台車	
3	A		中空ラーメン橋	高圧式クレーン(吊り上げ)	遠征式クレーン
4	E		大空油圧ジャッキ	多脚台車	
5	D	架設桁	架設桁(吊り下げ)	多脚台車	
6	D		架設桁(吊り下げ)	架設桁(吊り下げ)	
7	E		架設		
8	D	プレキャスト T桁橋	架設桁(上落式)	架設桁(上落式)	
9	C		架設桁(吊り下げ)	架設桁(吊り下げ)	
10	D		架設桁(上落式)	移動式門機	
11	D		架設桁(上落式)	遠征式クレーン	
12	B		支保工	遠征式クレーン	
13	A	T桁橋	無し	遠征式クレーン	

【凡 例】
 A : クレーンによる支保工一括撤去工法
 B : ベントクレーン併用分割撤去工法
 C : 架設桁・クレーン併用分割撤去工法
 D : 架設桁工法による一括撤去工法
 E : その他の撤去工法

